



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA CIVIL
CAMPUS CAMPINA GRANDE - PB

DIAGNÓSTICO DAS CARACTERÍSTICAS E SEGURANÇA DAS BARRAGENS DA
PARAÍBA

Isabelle Silva Antunes

Orientadora: Prof.^a Dra. Carina Silvani

CAMPINA GRANDE – PB

2019

ISABELLE SILVA ANTUNES

DIAGNÓSTICO DAS CARACTERÍSTICAS E SEGURANÇA DAS BARRAGENS DA
PARAÍBA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Campina Grande como requisito obrigatório para aprovação na disciplina Trabalho de Conclusão de Curso, sob a orientação da Prof^a Dr^a. Carina Silvani.

Orientadora: Prof.^a Dra. Carina Silvani

CAMPINA GRANDE – PB

2019

ISABELLE SILVA ANTUNES

DIAGNÓSTICO DAS CARACTERÍSTICAS E SEGURANÇA DAS BARRAGENS DA
PARAÍBA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Engenharia Civil da Universidade
Federal de Campina Grande como requisito
obrigatório para aprovação na disciplina
Trabalho de Conclusão de Curso, sob a
orientação da Prof^a Dr^a. Carina Silvani.

Aprovado em: ____ de _____ de 2019.

Nota: _____

Carina Silvani
Orientadora

RESUMO

As barragens de terra constituem umas das mais antigas realizações humanas, são obras de infraestrutura de extrema importância para o desenvolvimento humano devido as suas diversas finalidades. Logo, considerando-se de grande importância no âmbito social, econômico e ambiental das obras de barragens, torna-se cada vez mais relevante o estudo das características envolvidas no seu desempenho. A Lei 12.334/2010, que instituiu a Política Nacional de Segurança de Barragens, definiu obrigações e procedimentos a seguir para garantir a observância de padrões de segurança de barragens, de maneira a reduzir a possibilidade de acidentes e suas consequências. Os normativos e padrões de segurança a atender variam em função da categoria do risco e do dano potencial associado à barragem em caso de rompimento, exigindo assim a sua classificação, que é também um requisito para verificação de seu enquadramento no escopo da Lei. No contexto da Política Nacional de Segurança de Barragens, o conceito de risco diverge do formalmente definido e encontrado na literatura, estando restrito às características técnicas e de conservação da barragem e de suas estruturas associadas

Palavras-chave: Barragens; Segurança; Risco; Dano.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	9
1.1	Objetivo geral.....	11
1.2	Objetivos específicos.....	11
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	12
2.1	Características construtivas e de segurança das barragens.....	12
2.1.1	Finalidade.....	12
2.2	Tipos de Barragem Segundo sua Técnica Construtiva.....	13
2.3	Segurança de barragens.....	14
2.4	Legislação.....	14
2.5	Categoria de risco e dano potencial associado.....	16
2.5.1	Categoria de risco.....	16
2.5.2	Dano Potencial Associado (DPA).....	20
2.5.3	Classes das barragens.....	22
2.6	Plano de Segurança (PS).....	22
2.7	Plano De Ações Emergenciais (PAE).....	23
2.8	Fluxo em Barragens.....	24
2.9	Estabilidade em Barragens.....	25
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	27
3.1	Materiais utilizados.....	27
3.2	Métodos.....	27
3.2.1	Diagnóstico das técnicas construtivas e dimensões típicas das barragens da Paraíba	27
3.2.2	Definição de uma barragem típica da Paraíba.....	27
3.2.3	Levantamento da variação do nível do reservatório da barragem típica.....	27
3.2.4	Análise do fluxo de água nos diferentes níveis do reservatório.....	28
3.2.5	Análise da estabilidade dos taludes nos diferentes níveis do reservatório.....	28
4	RESULTADOS ASSOCIADOS ÀS BARRAGENS PARAIBANAS.....	29

4.1	Barragem representativa.....	35
4.1.1	Definição de uma barragem típica da Paraíba	35
4.1.2	Características da barragem representativa.....	35
4.1.3	Características do solo	36
4.2	Variação do nível do reservatório do açude de Poções - PB ao longo dos últimos dez anos. 37	
4.3	Análise do fluxo nos diferentes níveis do reservatório da barragem representativa. .	38
4.4	Análise da estabilidade dos taludes nos diferentes níveis do reservatório.	39
4.5	Análise do risco e dano das barragens.....	40
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	41
	REFERÊNCIAS	42

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Método de Morgenstern-Price – Forças aplicadas a uma fatia de solo.....	26
Figura 2 – Classificação das barragens devido a finalidade.....	29
Figura 3 – Classificação das barragens em função da metodologia construtiva	30
Figura 4 - Classificação das barragens em função ao risco.....	30
Figura 5 - Classificação das barragens em função do dano potencial.....	31
Figura 6 - Classificação das barragens em função classe de segurança	32
Figura 7 - Classificação das barragens em função da existência de plano de segurança	33
Figura 8 - Classificação das barragens em função da existência de planos de ações emergenciais	33
Figura 9 – Classificação das barragens em função da altura.....	34
Figura 10 – Classificação das barragens em função do comprimento	35
Figura 11 - Variação do nível do reservatório ao longo dos últimos dez anos.....	37
Figura 12 - Variação do fluxo do reservatório ao longo dos últimos dez anos	38
Figura 13 - Variação do fluxo do reservatório ao longo dos últimos dez anos	39

LISTA DE QUADRO

Quadro 1 - Classificação das Características Técnicas (CT).....	17
Quadro 2 - Classificação do Estado de Conservação (EC)	18
Quadro 3 - Classificação do Plano de Segurança de Barragem (PS)	19
Quadro 4 - Realização do somatório total da Categoria de Risco (CRI).....	20
Quadro 5 - Faixas de classificação da Categoria de Risco (CRI).....	20
Quadro 6 - Classificação do Dano Potencial Associado (DPA).....	21
Quadro 7 - Faixas de classificação do Dano Potencial Associado (DPA)	22
Quadro 8 - Classificação final do Dano Potencial Associado versus Categoria de Risco	22
Quadro 9 – Características da barragem representativa da PB.....	36

1 INTRODUÇÃO

As barragens, dentre as atividades decorrentes do desenvolvimento urbano moderno, se apresentam como um dos principais instrumentos associado para retenção de água, rejeitos e detritos para fins de armazenamento ou controle. Em vista disso, é de extrema importância o monitoramento das condições de segurança das barragens para garantir o pleno funcionamento e impedir que ocorram acidentes.

Deve-se considerar que o projeto de uma barragem envolve aspectos diversificados. Pode-se relacionar fatores como a obra propriamente dita, o objetivo da mesma, tipo de barragem, metodologia de construção e critérios operacionais. E outros fatores como o ambiente em que a obra será inserida logo seus impactos ambientais, morfologia, climatologia, recursos hídricos entre outros.

Para a escolha do lugar de implantação de uma barragem e do tipo de obra mais adequado, temos, que definir o objetivo da mesma. Os propósitos mais comuns das barragens são: abastecimento, hidrelétrica, navegação, turismo, piscicultura, controle de enchentes, contenção e outras.

Em relação ao tipo construtivo deve-se dividir em dois grandes grupos convencionais e não convencionais. As convencionais que são as mais utilizadas e cujo mecanismo é de amplo conhecimento como as barragens de terra, enrocamento, concreto, contraforte, concreto rolado ou compactado, abóbada, mistas. E as não convencionais, que incluem as que são poucos utilizadas, como barragens de gabião e madeira. Outros elementos construtivos também devem ser considerados, como por exemplo, tamanho e comprimento da obra, sendo estes, definidos criteriosamente pelos projetistas de acordo com, objetivo, função e finalidade da mesma.

Um dos fatores extremamente importante é o fator climático-hidrológico, pois interferem de forma direta no mecanismo de funcionamento das barragens. Destes, o mais importante é a precipitação pluviométrica merecendo um maior destaque como agente predisponente no processo de instabilidade de taludes.

Dessa forma, deve-se atentar para todos os parâmetros e critérios escolhidos para a execução da obra para que possa evitar e prevenir possíveis rupturas, cujos impactos e efeitos se estendem para outros ambientes causando danos humanos, ambientais, sociais e econômicos.

A ruptura de uma barragem gera consequências catastróficas. Isso ficou notório em episódios recentes do Brasil, que causaram muitas perdas humanas e enormes impactos

socioambientais. Uma exemplificação disso é o rompimento da barragem de Brumadinho que está localizada na região metropolitana de Belo Horizonte que registrou um grande número de vítimas em óbito e desaparecidas, além de um grande prejuízo socioambiental.

Em vista do contexto envolvido, devemos atentar para a segurança das barragens como um fator de extrema importância. Atualmente, existem legislações vigentes que regem a segurança dessas obras.

Neste contexto objetivo primário de uma legislação em Segurança de Barragens, deve ser a de: “reduzir riscos à vida e à propriedade, devido a uma possível ruptura de barragem com a estabelecimento e manutenção de um efetivo programa (de abrangência nacional) para segurança de barragens. (BOYER, 2004)

No vale a jusante podemos prever os riscos a que está sujeito a uma possível ruptura do talude. Logo, pode-se minimizar os riscos conhecidos. Realizando medidas por meio da implementação de medidas não estruturais como o planejamento das ações de resposta, os sistemas de comunicação, alerta e aviso, treinamentos, e a preparação de mapas de zoneamento de risco para planejamento e ordenamento do uso e ocupação do solo.

Em virtude do contexto envolvido, a probabilidade de ruptura de uma barragem em geral é baixa, porém as consequências podem ser grandes. Por isso é fundamental o monitoramento eficaz e constante dessas estruturas. Dessa forma, é extremamente relevante conhecer todas as características que as envolvem e influenciam na segurança das mesmas. E também o uso dos conhecimentos de análise de estabilidade de taludes e a aplicação da legislação moderna em vigência para assim manter que a taxa de acidentes em barragens tão baixa quanto possível.

1.1 Objetivo geral

Avaliar as características e segurança de uma barragem típica da Paraíba considerando os diferentes níveis do reservatório observados ao longo de 10 anos.

1.2 Objetivos específicos

- Estabelecer um diagnóstico das técnicas construtivas utilizadas nas barragens da Paraíba;
- Mapear as dimensões e características das barragens da Paraíba e definição de uma barragem típica para o estado;
- Analisar a variação do nível das barragens no período de 10 anos;
- Examinar os riscos associado das barragens da Paraíba de acordo com a Lei nº 12.334/2010;
- Analisar os fatores de segurança da barragem escolhida da Paraíba com os diferentes níveis de água durante um período de 10 anos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Características construtivas e de segurança das barragens.

As barragens são classificadas devido as suas características específicas, dentre elas temos: o tipo construtivo, a sua finalidade, classe, categoria de riscos, dano potencial associado, comprimento e a sua altura.

2.1.1 Finalidade

As barragens podem ter diversas finalidades, a mesma está diretamente ligada à sua principal fonte de uso, dessa forma, as barragens podem servir para as seguintes finalidades:

- Barragem de abastecimento de água: são utilizadas em grandes áreas urbanas e/ou industriais que possuem uma grande demanda de água. Dessa forma, são necessários reservatórios grandes de armazenamento para satisfazer a população.
- Barragens de aquicultura: são barragens que tem como função principal o tratamento do ambiente aquático para criação de seres de vida aquática como, por exemplo, peixes. E também para cultivo de produtos naturais onde possibilitam produtos com um controle maior de qualidade e rastreabilidade. Possuindo outras vantagens que contribuem para a segurança alimentar, no sentido de gerar alimento de qualidade, com planejamento.
- Barragem de rejeitos de mineração: servem para conter as águas provenientes das minerações, a fim de evitar que as substâncias químicas invadam os mananciais.
- Barragem para controle de inundações: Para controlar a água de grandes chuvadas, existem algumas barragens destinadas a proteger os territórios a jusante das mesmas;
- Barragens de dessedentação animal: são destinadas a amenizar os efeitos provocados a situação de estiagem. Estas barragens reservam água para o consumo animal na época da seca.
- Barragens industriais: Tem como função principal o armazenamento de água para o uso industrial. E também para contenção de rejeitos industriais.
- As barragens de irrigação têm como função principal o fornecimento controlado de água para plantações em quantidades e tempos suficientes. Além disso tem

que suprir a vazão regularizada que supra a demanda necessária para a área irrigada.

- Barragem para regularizações de vazões asseguram a disponibilidade de água para qualquer finalidade à jusante da mesma.
- As barragens para proteção do meio ambiente servem para captação de resíduos, geralmente, em anexo na barragem principal. A principal finalidade é desviar uma parcela e estabelecer uma qualidade melhor ao final do curso.
- Barragens de recreação: são utilizadas para Passear de barco, nadar, pescar, observar pássaros e fazer caminhadas.

As barragens podem ser multifuncionais, servindo a dois ou mais destes propósitos. Portanto, qualquer aproveitamento múltiplo, deve ser antecedido de uma rigorosa análise hidrológica para verificar o balanço entre os volumes afluente, efluente e utilizado em cada uma das finalidades.

2.2 Tipos de Barragem Segundo sua Técnica Construtiva

Massad (2003) define em seu livro os tipos de barragens, sendo:

- Barragem de concreto gravidade (concreto massa): como o próprio nome sugere, este tipo de barragem funciona em função do seu peso. Em geral, requer fundações em rocha, por questões de capacidade de suporte do terreno. Dentre as barragens de gravidade destaca-se as de Concreto Compactado com Rolo, executada com concreto com baixa relação água/cimento e adensado com rolo vibratório.
- Barragem de concreto estrutural com contrafortes: essas barragens de concreto estrutural são constituídas de lajes ou abóbadas múltiplas inclinadas, apoiadas em contrafortes. Em comparação com o tipo anterior, requerem menor volume de concreto, mas, em compensação exigem mais forma e armação.
- Barragem de concreto em arco dupla curvatura: sua forma, com dupla curvatura (“casca”), faz com que o concreto trabalhe em compressão. Note-se que só é possível construí-la engastada em vales fechados, em que a relação entre a largura da crista e a altura da barragem é inferior a 2,5.
- Barragem de terra homogênea é o tipo de barragem mais em uso no Brasil, pelas condições topográficas, com vales abertos, e da disponibilidade de material terroso no Brasil.

- Barragem de terra-enrocamento é a mais estável em comparação entre as barragens de terra, não havendo registro de ruptura envolvendo seus taludes. O material do enrocamento (pedras) apresenta elevado ângulo de atrito, garantindo a estabilidade dos taludes de montante e jusante, mesmo quando são íngremes (inclinações 1:1,6 até 1:2,2). O núcleo argiloso imprime a estanqueidade à barragem, permitindo o represamento de água (formação do lago).
- Barragem de enrocamento com membrana de concreto apresentam, como septo impermeável, placas de concreto sobre o talude de montante, de enrocamento. Essas placas são ligadas umas às outras por juntas especiais, pois apoiam-se em meio deformável, o enrocamento, que pode sofrer recalques significativos por ocasião do primeiro enchimento.
- Barragem em aterro hidráulico consistem no solo transportado com água por meio de tubulações, até o local da construção. Ao ser despejado, o material segrega-se separando-se as areias, que formam os espaldares do aterro, dos finos (siltes e argilas), que acabam por constituir o núcleo da barragem.

2.3 Segurança de barragens

Barragens são obras geralmente associadas a um elevado potencial de risco (BRASIL, 2002). Jansen (1983) afirma que o risco de rompimento de barragens é um dos fardos inevitáveis que a civilização carrega e, desta forma, uma responsabilidade básica da engenharia é a de minimizar estes riscos. A preocupação com a segurança dessas estruturas teve início após a ocorrência de alguns acidentes graves, principalmente entre as décadas de 1960 e 1970 (ICOLD, 1995 apud VERÓL; MIGUEZ; MASCARENHAS, 2012). A segurança de barragem consiste na condição que visa manter a integridade estrutural e operacional e a preservação da vida, da saúde, da propriedade e do meio ambiente (BRASIL, 2010). Dinçergök (2007) afirma ainda que a segurança de barragem deve contemplar não apenas as boas condições estruturais do empreendimento, mas também mitigar os impactos que possam ocorrer a jusante em caso de ruptura da barragem.

2.4 Legislação

Em relação a legislação, a inserção legal do Brasil na temática de Segurança de Barragens se deu com a promulgação da Lei n. ° 12.334 de 20 de setembro de 2010, onde os diversos órgãos fiscalizadores foram inseridos no tema para executá-lo, como a Agência Nacional de Águas (ANA), a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), o Instituto

Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) e seus órgãos descentralizados e a Agência Nacional de Mineração (ANM). Os citados órgãos fiscalizadores, tiveram que, de acordo com obrigações advindas da Lei 12.334/2010, criar Resoluções e Portarias com o fim de regulamentar alguns artigos da citada Lei federal. Em vista disso, as principais leis brasileiras são:

- Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010. Que estabeleceu a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais e criou o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens. A citada Política tem como objetivos garantir a observância de padrões de segurança, regulamentar, promover o monitoramento e acompanhar as ações de segurança empregadas pelos responsáveis por barragens, de maneira a reduzir a possibilidade de acidentes e suas consequências, em especial, junto à população potencialmente afetada.
- Resolução CNRH nº 143, de 10 de julho de 2012. Estabelece critérios gerais de classificação de barragens por categoria de risco, dano potencial associado e pelo volume do reservatório, em atendimento ao art. 7º da Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010.
- Resolução nº 144, de 10 de julho de 2012. Estabelece diretrizes para implementação da Política Nacional de Segurança de Barragens, aplicação de seus instrumentos e atuação do Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens, em atendimento ao art. 20 da Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, que alterou o art. 35 da Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997.
- Portaria nº 14, de 15 de janeiro 2016. Estabelece prazo para apresentação de comprovante de entrega das cópias físicas do Plano de Ação de Emergência de Barragem de Mineração (PAEBM) para as Prefeituras e Defesas Cíveis municipais e estaduais, conforme exigido pelo art. 7º da Portaria nº 526, de 2013, e dá outras providências.
- Portaria nº 70.389, de 17 de maio de 2017. Cria o Cadastro Nacional de Barragens de Mineração, o Sistema Integrado de Gestão em Segurança de Barragens de Mineração e estabelece a periodicidade de execução ou atualização, a qualificação dos responsáveis técnicos, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento do Plano de Segurança da Barragem, das Inspeções de Segurança Regular e Especial, da Revisão

Periódica de Segurança de Barragem e do Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração, conforme art. 8º, 9º, 10, 11 e 12 da Lei nº 12.334 de 20 de setembro de 2010, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens - PNSB.

2.5 Categoria de risco e dano potencial associado.

2.5.1 Categoria de risco

Categoria de risco de uma barragem diz respeito aos aspectos da própria barragem que possam influenciar na probabilidade de um acidente: aspectos de projeto, integridade da estrutura, estado de conservação, operação e manutenção, atendimento ao plano de segurança, entre outros aspectos.

De acordo com Brasil (2012b) na Categoria de Risco, as barragens são classificadas conforme os aspectos técnicos, estado de conservação e Plano de Segurança, que através de um quadro podem prever a possibilidade de ocorrência de um acidente.

Para classificar uma barragem é necessário utilizar a relação Categoria de Risco versus Dano Potencial associado como descrito anteriormente. A Categoria de Risco envolve três aspectos a serem avaliados na classificação barragem.

a) Características Técnicas (CT): é a relação da altura, comprimento e vazão do projeto da barragem. De acordo com essas características, será atribuído um valor e realizado o somatório dos três parâmetros, conforme ilustra a Quadro 01.

Quadro 1 - Classificação das Características Técnicas (CT)

Altura (a)	Comprimento (b)	Vazão do Projeto (c)
Altura \leq 15m (0)	Comprimento \leq 50m (0)	CMP (Cheia Máxima Provável) ou Decamilenar (0)
15m < Altura < 30m (1)	50m < Comprimento < 200m (1)	Milenar (2)
30m \leq Altura \leq 60m (4)	200 \leq Comprimento \leq 600m (2)	TR (Tempo de Recorrência) = 500 anos (5)
Altura > 60m (7)	Comprimento > 600m (3)	TR Inferior a 500 anos ou desconhecida/ Estudo não confiável (10)
CT = Σ (a ate c)		

Fonte: Brasil, 2012b.

b) Estado de Conservação (EC): esse aspecto leva em consideração o estado de conservação e confiabilidade dos instrumentos, controle da percolação e estado de deterioração dos taludes. De acordo com estas características, será atribuído um valor e realizado o somatório dos quatros parâmetros, conforme ilustra o Quadro 02.

Quadro 2 - Classificação do Estado de Conservação (EC)

Confiabilidade das Estruturas Extravasoras (d)	Percolação (e)	Deformações e Recalques (f)	Deterioração dos Taludes / Paramentos (g)
Estruturas civis bem mantidas e em operação normal /barragem sem necessidade de estruturas extravasoras (0)	Percolação totalmente controlada pelo sistema de drenagem (0)	Não existem deformações e recalques com potencial de comprometimento da segurança da estrutura (0)	Não existe deterioração de taludes e paramentos (0)
Estruturas com problemas identificados e medidas corretivas em implantação (3)	Umidade ou surgência nas áreas de jusante, paramentos, taludes e ombreiras estáveis e monitorados (3)	Existência de trincas e abatimentos com medidas corretivas em implantação (2)	Falhas na proteção dos taludes e paramentos, presença de vegetação arbustiva (2)
Estruturas com problemas identificados e sem implantação das medidas corretivas necessárias (6)	Umidade ou surgência nas áreas de jusante, paramentos, taludes ou ombreiras sem implantação das medidas corretivas necessárias (6)	Existência de trincas e abatimentos sem implantação das medidas corretivas necessárias (6)	Erosões superficiais, ferragem exposta, presença de vegetação arbórea, sem implantação das medidas corretivas necessárias. (6)
Estruturas com problemas identificados, com redução de capacidade vertente e sem medidas corretivas (10)	Surgência nas áreas de jusante com carreamento de material ou com vazão crescente ou infiltração do material contido, com potencial de comprometimento da segurança da estrutura (10)	Existência de trincas, abatimentos ou escorregamentos, com potencial de comprometimento da segurança da estrutura (10)	Depressões acentuadas nos taludes, escorregamentos, sulcos profundos de erosão, com potencial de comprometimento da segurança da estrutura. (10)
EC = Σ (d até g)			

Fonte: Brasil, 2012b.

c) Plano de Segurança da Barragem (PS): esse aspecto leva em consideração a documentação relativa à barragem, estrutura organizacional e qualificação dos funcionários que operam a barragem, manuais de procedimentos para inspeção e monitoramento e análise da segurança. De acordo com as características, será atribuído um valor e realizado o somatório dos cinco parâmetros, conforme ilustra o Quadro 03.

Quadro 3 - Classificação do Plano de Segurança de Barragem (PS)

Documentação de Projeto (h)	Estrutura Organizacional e Qualificação dos Profissionais na Equipe de Segurança da Barragem (i)	Manuais de Procedimentos para Inspeções de Segurança e Monitoramento (j)	Plano de Ação Emergencial - PAE (quando exigido pelo órgão fiscalizador) (k)	Relatórios de inspeção e monitoramento e de instrumentação e de Análise de Segurança (l)
Projeto executivo e "como construído" (0)	Possui unidade administrativa com profissional técnico qualificado responsável pela segurança da barragem (0)	Possui manuais de procedimentos para inspeção, monitoramento e operação (0)	Possui PAE (0)	Emite regularmente relatórios de inspeção e monitoramento com base na instrumentação e de Análise de Segurança (0)
Projeto executivo ou "como construído" (2)	Possui profissional técnico qualificado (próprio ou contratado) responsável pela segurança da barragem (1)	Possui apenas manual de procedimentos de monitoramento (2)	Não possui PAE (não é exigido pelo órgão fiscalizador) (2)	Emite regularmente apenas relatórios de Análise de Segurança (2)
Projeto básico (5)	Possui unidade administrativa sem profissional técnico qualificado responsável pela segurança da barragem (3)	Possui apenas manual de procedimentos de inspeção (4)	PAE em elaboração (4)	Emite regularmente apenas relatórios de inspeção e monitoramento (4)
Projeto conceitual (8)	Não possui unidade administrativa e responsável técnico qualificado pela segurança da barragem (6)	Não possui manuais ou procedimentos formais para monitoramento e inspeções (8)	Não possui PAE (quando for exigido pelo órgão fiscalizador) (8)	Emite regularmente apenas relatórios de inspeção visual (6)
Não há documentação de projeto (10)	-	-	-	Não emite regularmente relatórios de inspeção e monitoramento e de análise de Segurança (8)
PS = Σ (h até l)				

Fonte: Brasil, 2012b.

Após a realização da caracterização desses três aspectos na Categoria de Risco, realiza-se o somatório do CT + EC + PS, Quadro 04, e se obtém uma faixa de classificação, Quadro 05, que será consultada no quadro 07 para a classificação final da barragem.

Quadro 4 - Realização do somatório total da Categoria de Risco (CRI)

Categoria de Risco	Pontos
Características Técnicas (CT)	
Estado de Conservação (EC)	
Plano de Segurança de Barragens (PS)	
PONTUACAO TOTAL (CRI) = CT + EC + PS	0

Fonte: Brasil, 2012b.

Quadro 5 - Faixas de classificação da Categoria de Risco (CRI)

Categoria de Risco	CRI
ALTO	≥ 60 ou $EC=10$
MÉDIO	35 a 60
BAIXO	≤ 35

Fonte: Brasil, 2012b.

2.5.2 *Dano Potencial Associado (DPA)*

Já o dano potencial associado é o dano que pode ocorrer devido a rompimento, vazamento, infiltração no solo ou mau funcionamento de uma barragem, independente da sua probabilidade de ocorrência, podendo ser graduado de acordo com as perdas de vidas humanas e impactos sociais, econômicos e ambientais. (ANA, 2017).

O Dano Potencial Associado se baseia nas áreas que serão diretamente afetadas em caso de rompimento da estrutura. Os parâmetros gerais levados em consideração no Dano Potencial Associado segundo Lei 12.334/2010 são:

- existência de população a jusante da barragem, com potencial perda de vidas humanas;
- existência de unidades habitacionais, urbanas ou comunitárias;
- existência de infraestrutura ou serviços;
- existência de equipamentos de serviços públicos essenciais;
- existência de áreas protegidas, definidas em legislação;
- natureza dos rejeitos ou dos resíduos armazenados;
- volume reservado.

A classificação de acordo com o Dano Potencial Associado (DPA) é realizada através do atendimento da barragem nos quesitos: volume total do reservatório, existência de população

a jusante, impacto ambiental e socioeconômico. De acordo com as características, será atribuído um valor e realizado o somatório dos quatro parâmetros, conforme ilustra o Quadro 06.

Quadro 6 - Classificação do Dano Potencial Associado (DPA)

Volume Total do Reservatório (a)	Existência de população a jusante (b)	Impacto ambiental (c)	Impacto socioeconômico (d)
Muito Pequeno < = 500 mil m ³ (1)	INEXISTENTE (não existem pessoas permanentes/ residentes ou temporárias/ transitando na área afetada à jusante da barragem) (0)	INSIGNIFICANTE (área afetada a jusante da barragem encontra-se totalmente descaracterizada de suas condições naturais e a estrutura armazena apenas resíduos Classe II B - Inertes, segundo a NBR 10.004 da ABNT) (0)	INEXISTENTE (não existem quaisquer instalações na área afetada a jusante da barragem) (0)
Pequeno 500 mil a 5 milhões m ³ (2)	POUCO FREQUENTE (não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada à jusante da barragem, mas existe estrada vicinal de uso local) (3)	POUCO SIGNIFICATIVO (área afetada a jusante da barragem não apresenta área de interesse ambiental relevante ou áreas protegidas em legislação específica, excluídas APP's, e armazena apenas resíduos Classe II B - Inertes, segundo a NBR 10.004 da ABNT) (2)	BAIXO (existe pequena concentração de instalações residenciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura de relevância socioeconômico-cultural na área afetada a jusante da barragem) (1)
Médio 5 milhões a 25 milhões m ³ (3)	FREQUENTE (não existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada à jusante da barragem, mas existe rodovia municipal ou estadual ou federal ou outro local e/ou empreendimento de permanência eventual de pessoas que poderão ser atingidas) (5)	SIGNIFICATIVO (Área afetada a jusante da barragem apresenta área de interesse ambiental relevante ou áreas protegidas em legislação específica, excluídas APP's e armazena apenas resíduos Classe II B - Inertes, segundo a NBR 10.004 da ABNT) (6)	MÉDIO (existe moderada concentração de instalações residenciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura de relevância socioeconômico-cultural na área afetada a jusante da barragem) (3)
Grande 25 milhões a 50 milhões m ³ (4)	EXISTENTE (existem pessoas ocupando permanentemente a área afetada à jusante da barragem, portanto, vidas humanas poderão ser atingidas) (10)	MUITO SIGNIFICATIVO (barragem armazena rejeitos ou resíduos sólidos classificados na Classe II A - Não Inertes, segundo a NBR 10004 da ABNT) (8)	ALTO (existe alta concentração de instalações residenciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura de relevância sócio-econômico-cultural na área afetada a jusante da barragem) (5)
Muito Grande > = 50 milhões m ³ (5)	-	MUITO SIGNIFICATIVO AGRAVADO (barragem armazena rejeitos ou resíduos sólidos classificados na Classe I- Perigosos segundo a NBR 10004 da ABNT) (10)	-
DPA= Σ (a até d)			

Fonte: Brasil, 2012b.

Após a classificação do Dano Potencial Associado (DPA), atribuição dos valores e realização do somatório pode-se classificar a barragem de acordo com as faixas de classificação.

Quadro 7 - Faixas de classificação do Dano Potencial Associado (DPA)

DANO POTENCIAL ASSOCIADO	DPA
ALTO	≥ 13
MÉDIO	$7 < DPA < 13$
BAIXO	≤ 7

Fonte: Brasil, 2012b.

2.5.3 Classes das barragens

As barragens são classificadas em A, B, C, D e E de acordo com o Dano Potencial Associado e ao Risco, conforme o quadro 8. Conforme Brasil (2012a) esse quadro serve para a classificação das barragens quanto a periodicidade de atualização do Plano de Segurança de Barragem (PSB):

- classe A: a cada 5 anos;
- classe B: a cada 5 anos;
- classe C: a cada 7 anos;
- classe D: a cada dez anos;
- classe E: a cada 10 anos.

Quadro 8 - Classificação final do Dano Potencial Associado versus Categoria de Risco

Dano Potencial Associado			
Categoria de Risco	Alto	Médio	Baixo
Alto	A	B	C
Médio	B	C	D
Baixo	C	D	E

Fonte: Brasil, 2012a.

2.6 Plano de Segurança (PS)

O Plano de Segurança da Barragem é um documento a ser elaborado para cada barramento do Brasil. Nesse sentido, a Agência Nacional de Águas (ANA), responsável por fiscalizar a segurança de barragens para usos múltiplos de recursos hídricos de domínio da União, editou a Resolução nº 91, de 2 de abril de 2012, que estabelece a periodicidade de atualização, a qualificação do responsável técnico, o conteúdo mínimo e o nível de

detalhamento tanto do Plano de Segurança da Barragem quanto da Revisão Periódica de Segurança da Barragem.

O Plano de Segurança da Barragem é um instrumento da PNSB e deve ser obrigatoriamente, implantado pelo empreendedor - agente privado ou governamental com direito real sobre as terras onde se localizam a barragem e o reservatório ou que explore o barramento para benefício próprio ou da coletividade. O objetivo do Plano é auxiliar o empreendedor na segurança da barragem e o documento deve conter dados técnicos de construção, operação e manutenção do empreendimento. (ANA, 2017).

A PNSB tem como objetivos fundamentais garantir a observância de padrões de segurança, regulamentar, promover o monitoramento e acompanhar as ações de segurança assumidas pelos responsáveis por barragens, visando a redução da possibilidade de acidentes e suas consequências, em especial, junto à população potencialmente afetada (ANA, 2013). Ela abrange todas as barragens brasileiras enquadradas em critérios mínimos de porte e de eventuais danos decorrentes de uma ruptura (consequência), conforme listado a seguir:

- Altura do maciço, contada do ponto mais baixo da fundação à crista, maior ou igual a 15m (quinze metros);
- Capacidade total do reservatório maior ou igual a 3.000.000m³ (três milhões de metros cúbicos);
- Reservatório que contenha resíduos perigosos conforme normas técnicas aplicáveis;
- Categoria de dano potencial associado, médio ou alto, em termos econômicos, sociais, ambientais ou de perda de vidas humanas.

2.7 Plano De Ações Emergenciais (PAE)

O sistema de segurança de uma barragem deve ser garantido através de medidas integrativas de gerenciamento do empreendimento. Para isso, existe um documento que consolida os procedimentos legais para este gerenciamento do risco e soluções a situações de emergências que são os planos de ações emergências (PAE).

O plano de ações emergenciais trata de um documento de caráter técnico que deve ser elaborado de forma que possua um fácil entendimento. Neste, devem conter as identificações de emergência que possam pôr em risco a integridade da barragem. E também ações necessárias nesses casos e também deve-se definir os agentes a serem notificados em ocorrências nessas circunstâncias.

Segundo Viseu e Almeida (2000), existem razões teóricas e vantagens práticas em decompor os PAE em: Interno à barragem e Externo (município). O primeiro corresponde ao conjunto de ações a serem tomadas pela operação da barragem a fim de detectar o problema, tomar as decisões necessárias e notificar os demais envolvidos (populações e autoridades), devendo conter os mapas de inundação. O segundo plano contempla os sistemas de alerta e procedimentos de evacuação da população.

Com relação às barragens, a Lei 1.181/03 prevê que o PAE, tratado no documento como sendo o da barragem, deve estabelecer as ações a serem implementadas pelo empreendedor da barragem em caso de situação de emergência e identificar os agentes a serem notificados. O plano deverá estar disponível no empreendimento e nas prefeituras envolvidas e deve ser encaminhado às autoridades competentes e aos organismos de Defesa Civil. Além disso, o órgão fiscalizador deverá informar imediatamente à ANA e ao Sistema Nacional de Defesa Civil sobre qualquer não conformidade que implique risco imediato à segurança ou sobre qualquer incidente/acidente ocorrido nas barragens sob sua jurisdição.

2.8 Fluxo em Barragens

Segundo CHIOSSI (2003), o interior da Terra, composto de diferentes rochas, funciona como um vasto reservatório subterrâneo para a acumulação e circulação das águas que nele se infiltram. Em vista disso, pode-se definir como fluxo o deslocamento das águas infiltradas que percolam nos interstícios. Para o engenheiro o estudo fluxo de água nos solos é de extrema importância, pois a água ao movimentar-se no interior do maciço de solo exerce em suas partículas forças que atuam no estado de tensão do maciço, um exemplo disto, é o fluxo em barragens. Através do conhecimento do fluxo também permitem calcular a pressão da água dos poros conhecida como pressão neutra e, portanto, a tensão efetiva em cada ponto do maciço.

A fundamentação teórica para resolução dos problemas de fluxo de água foi desenvolvida por Forchheimer e difundida por Casagrande (1937). De uma forma geral, os conceitos de fluxo de água para barragens são aplicados na análise da influência do fluxo de água sobre a estabilidade geral da massa de solo (estabilidade de taludes);

Outro fator relevante é avaliar o risco de ocorrência de acidentes resultantes de *quick sand* que é a anulação da resistência onde o solo passa a comportar-se como líquido denso. E conseqüentemente adotar medidas de prevenção contra o piping (erosão interna) e o “levantamento hidráulico”.

Em barragens de terra, o dimensionamento está condicionado a permeabilidade dos solos usados. A estabilidade dos taludes e estruturas de retenção podem ser severamente afetadas pela permeabilidade de solos envolvidos.

A segurança de barragens depende do eficiente controle de fluxo pelo maciço, fundação e ombreiras. Cruz (1996) apud Saré (2003) reconhece que após analisar qualquer estatística de acidentes e rupturas de barragens a causa majoritária está em geral atribuída à falta de um sistema eficiente de controle de fluxo.

As causas prevaletentes de rupturas por percolações podem ser classificadas em duas categorias (CEDERGREN, 1966):

1. Aquelas que ocorrem quando partículas de solo migram em direção a região externa do aterro, causando “piping” ou rupturas geradas por erosões;
2. Aquelas causadas por padrões de percolação não controlados que conduzem a saturação, excessivas subpressões, ou excessivas forças de percolação.

2.9 Estabilidade em Barragens

Os taludes formadores das barragens são tradicionalmente analisados pelos Métodos de Equilíbrio Limite (MEL), que tem como fundamento a relação entre as forças resistentes e as forças atuantes de um dado material. Para que haja estabilidade, esta relação deve ser igual ou superior a 1.

Foram vários métodos de equilíbrio limite desenvolvidos. Dentre eles pode-se citar, Fellenius (1927), Bishop (1955), Morgenstern e Price (1965), Spencer (1967), Janbu (1973) e Bishop Simplificado (1995). Segundo BRAJA (2014), estes métodos são bastantes similares, as diferenças entre eles dependem de: quais equações estáticas estão sendo consideradas e satisfeitas; quais forças entre as fatias são incluídas e qual é a relação considerada entre as forças cisalhante e normal entre as fatias, sendo segmentados em métodos rigorosos e não rigorosos. Esta classificação é realizada através do número de equações da estática consideradas no cálculo, sendo classificados como rigorosos os que satisfazem as três equações da estática

Freitas (2011) afirma que, por outro lado, temos o método de Morgenstern-Price que foi apresentado em 1965, que consiste num método de análise de estabilidade de taludes no qual todas as condições de equilíbrio e de fronteira são satisfeitas e a superfície de rotura poderá tomar qualquer forma, como pode ser observado na Figura 1. É uma aplicação do método das fatias, e exige cálculo computacional derivado do complexo processo iterativo. A aplicação do método recorre a equações diferenciais que governam o equilíbrio de momentos (Equação 1) e o equilíbrio de forças numa fatia (Equação 2).

$$(y'_1 - y_1) \frac{dE}{b} + E_1 \frac{dy'}{b} - X_1 = 0 \quad (1)$$

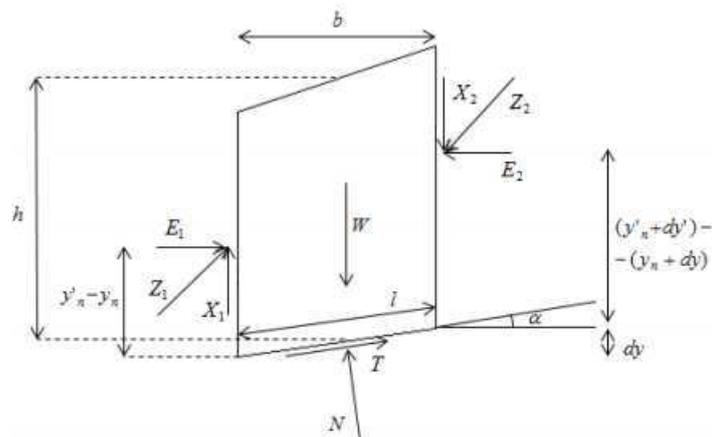
$$\frac{c'}{FS} [1 + \tan^2 \alpha] + \frac{\tan \phi'}{FS} \left[\frac{dW}{b} + \frac{dX}{b} - \frac{dE}{b} \tan \alpha - u \times (1 + \tan^2 \alpha) \right] = \frac{dE}{b} + \frac{dX}{b} \tan \alpha + \frac{dW}{b} \tan \alpha \quad (2)$$

Estas contêm, contudo, três incógnitas, as forças de interação entre fatias (X e E) e a posição da linha de pressão (y'). O problema é, pois, estaticamente indeterminado. De forma a tornar o problema estaticamente determinado, Morgenstern e Price consideraram uma função arbitrária que descreve a variação da relação entre X e E e um fator de escala λ . (FREITAS, 2011)

$$X = \lambda \times f(x) \times E \quad (3)$$

Para se chegar ao valor do fator de segurança e de λ procede-se à integração das equações diferenciais 1 e 2 e efetua-se um processo iterativo através do método de Newton-Raphson. FREITAS (2011)

Figura 1 – Método de Morgenstern-Price – Forças aplicadas a uma fatia de solo



Fonte: Freitas, 2011

3 MATERIAIS E MÉTODOS.

As condições e hipóteses utilizadas neste trabalho podem ser divididas da seguinte forma:

- Levantamento dos dados das barragens paraibanas monitoradas pela Agência Executiva de Gestão de Águas do Estado da Paraíba - AESA.
- Características da barragem representativa
- Características do solo
- Hipóteses de análise de estabilidade

3.1 Materiais utilizados

Os materiais utilizados são dados provenientes do banco de dados do sistema AESA. Onde podem ser acessados na seção de documentos que possui uma subseção de segurança de barragens. Dessa forma, foram coletados os dados de 499 barragens que são monitoradas pelo órgão acima onde foram analisados e tratados. E estão apresentadas no Anexo A.

3.2 Métodos

3.2.1 Diagnóstico das técnicas construtivas e dimensões típicas das barragens da Paraíba

A AESA cuja função é gerenciar as águas do estado e também monitorar as barragens possui um cadastro com os dados das barragens da Paraíba. Logo, o diagnóstico das técnicas construtivas e dimensões foi executado através da análise deste cadastro.

Foram levantadas as características da barragem segundo sua: finalidade, metodologia construtiva, risco, dano potencial, classe de segurança, plano de segurança, plano de ações emergenciais, altura e comprimento.

3.2.2 Definição de uma barragem típica da Paraíba

Com base nos elementos mais comum encontrado definiu-se os resultados correspondentes a uma barragem típica representativa da Paraíba, como aquela que possui as características mais comuns, nas categorias citadas acima, nas barragens catalogadas pela AESA.

3.2.3 Levantamento da variação do nível do reservatório da barragem típica

Com base nos dados dos níveis de água do reservatório monitorado pela AESA foram levantadas cotas em um intervalo de 10 anos, de 2008 a 2018, para a barragem escolhida como representativa da Paraíba.

3.2.4 Análise do fluxo de água nos diferentes níveis do reservatório

Com bases na variação das cotas registradas pela AESA foi analisada a variação do fluxo no reservatório no período de 2008 a 2018. Para isso, as análises de fluxo foram realizadas utilizando o programa SEEP/W. O programa SEEP/W é um programa de elementos finitos que pode ser utilizado para modelar o movimento e a distribuição de pressão de água dentro de materiais porosos tais como solo e rocha, pode ser utilizado para modelar tanto o fluxo saturado quanto o fluxo não saturado. Porém para a análise desta pesquisa utilizou-se somente o fluxo saturado.

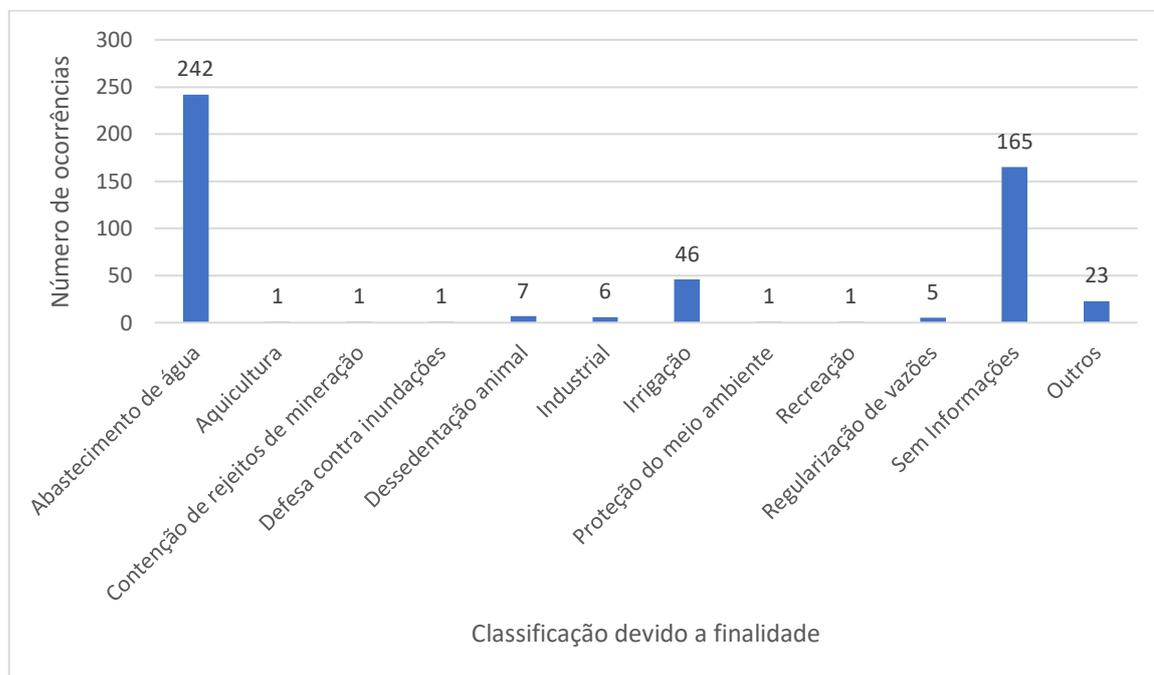
3.2.5 Análise da estabilidade dos taludes nos diferentes níveis do reservatório.

A AESA além dos dados de projeto, possui monitoramento das cotas dos reservatórios das barragens ao longo do ano. Com base nesses dados será possível avaliar o fator de segurança dos taludes da barragem típica Paraibana em diferentes níveis ao longo de dez anos. As análises de estabilidade foram conduzidas utilizando o programa SLOPE/W que faz parte do software GeoStudio 2016 e para análise de estabilidade, foi utilizado o método de Morgenstern-Price (1965).

4 RESULTADOS ASSOCIADOS ÀS BARRAGENS PARAIBANAS

Este item apresenta a classificação das barragens. Na Figura 2 apresenta a ocorrência das barragens na Paraíba a sua finalidade, como descreve o item 2.3.1.

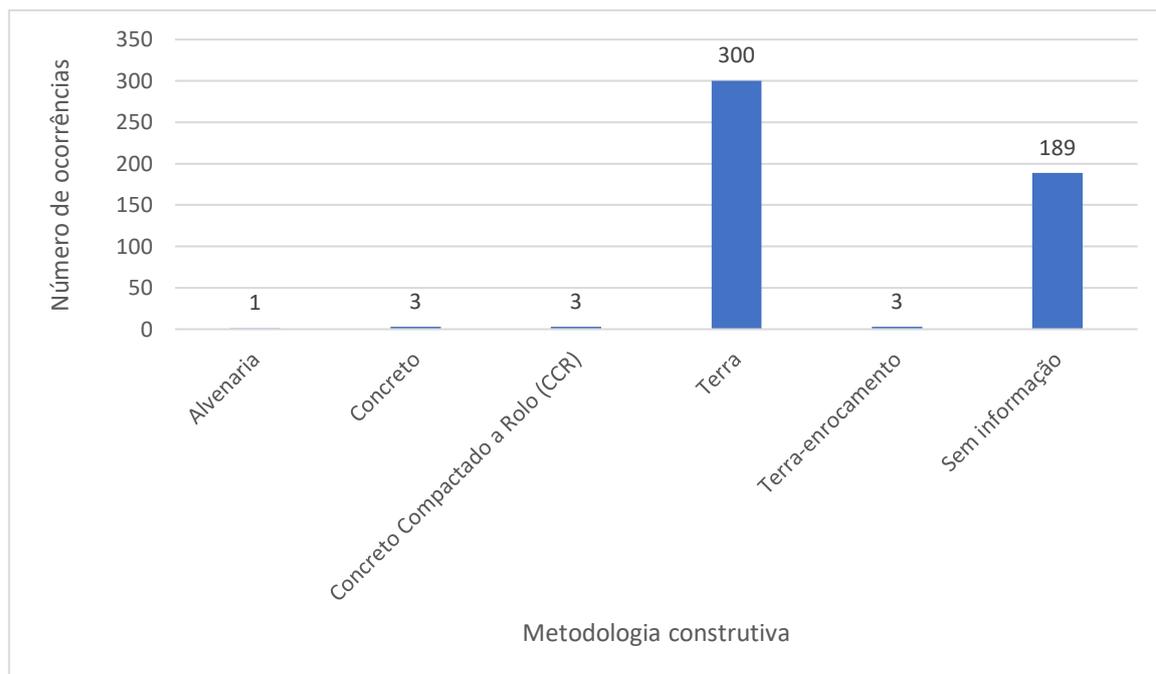
Figura 2 – Classificação das barragens devido a finalidade



Podemos observar que a maioria das barragens do estado da Paraíba tem como principal finalidade o abastecimento de água com um total representativo de 48,5%. Em seguida, segue as barragens que não possuem informações cadastradas sobre sua finalidade com 33,07%. E em minoria, o uso para irrigação com 9,22%, dessedentação animal com 1,40%, industrial 1,20, regularização de vazões 1% aquicultura 0,2%, contenção de rejeitos de mineração 0,2%, defesa contra inundações 0,2%, proteção do meio ambiente 0,2%, recreação 0,2% e outros 0,2%. A principal utilização das barragens na Paraíba, está ligada a baixa pluviometria, que exige a reserva de água para abastecimento da população.

Em seguida, Figura 3 são classificadas as barragens em relação ao tipo construtivo, como descreve o item 3.1.

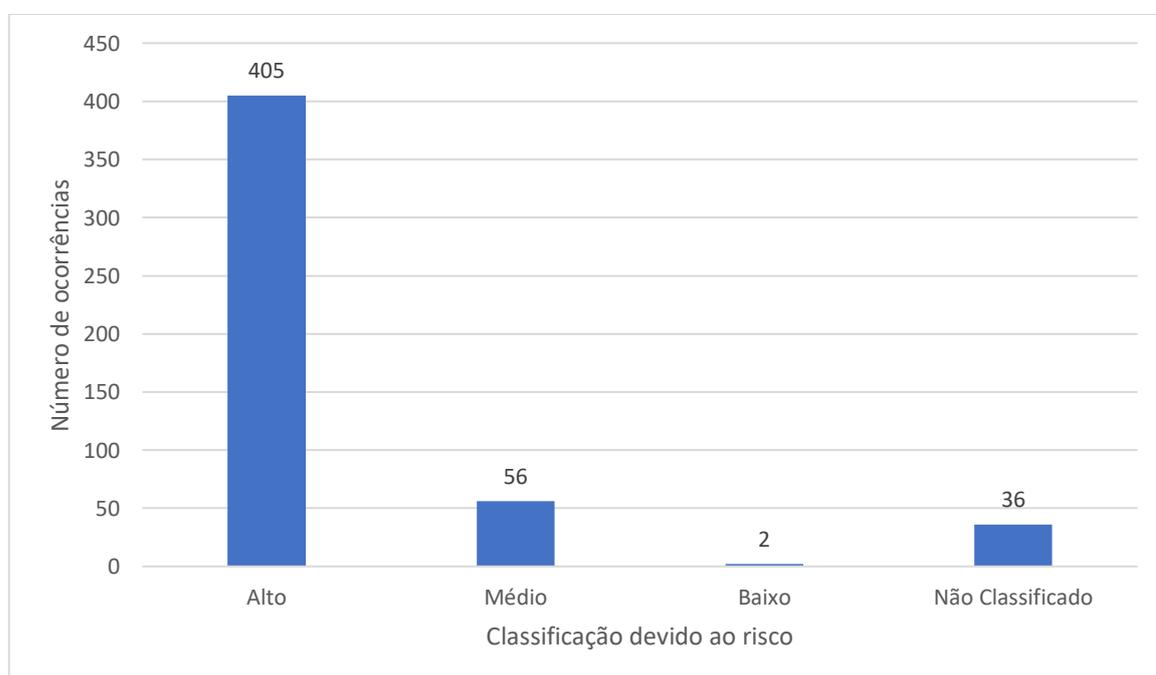
Figura 3 – Classificação das barragens em função da metodologia construtiva



O tipo construtivo mais utilizado nas barragens do estado da Paraíba é o de terra, que representa 60,12% do total. Podemos observar na Figura 3, que existe uma quantidade significativa de barragens que não possui informações sobre a técnica utilizada, correspondente a 37,88%. Em seguida, temos em menor quantidade barragens de concreto, concreto compactado a rolo, terra-enrocamento, que representam 0,6% respectivamente e por fim alvenaria com 0,2%.

Para a categorização do risco, como descreve o item 2.4.1, temos a seguir na Figura 4.

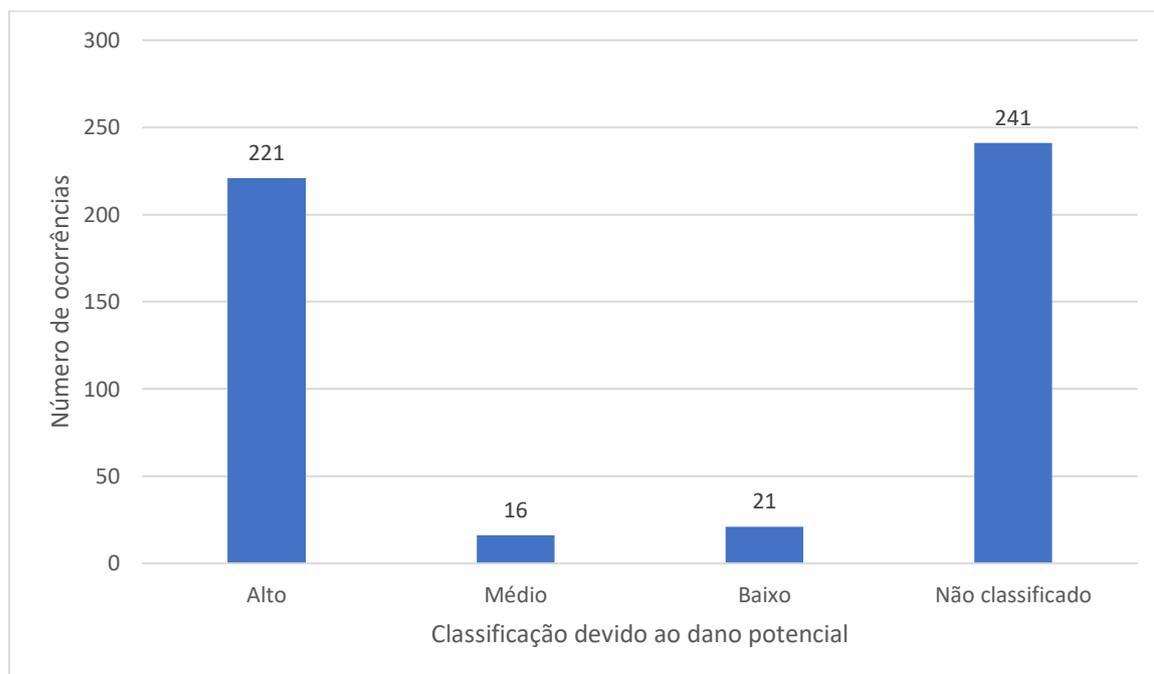
Figura 4 - Classificação das barragens em função ao risco



Podemos observar, que a grande maioria das barragens possuem uma categorização de risco alta o que corresponde 81,2% das barragens monitoradas pela AESA. Em seguida, temos que 11,2% correspondem a categoria de risco médio. Por outro lado, temos que 7,2% são barragens que ainda não foram classificadas. E por fim, 0,4% são barragens que possuem uma categorização de risco baixo.

Em exposição ao dano potencial associado, como descreve o item 2.4.2, temos a seguir na Figura 5.

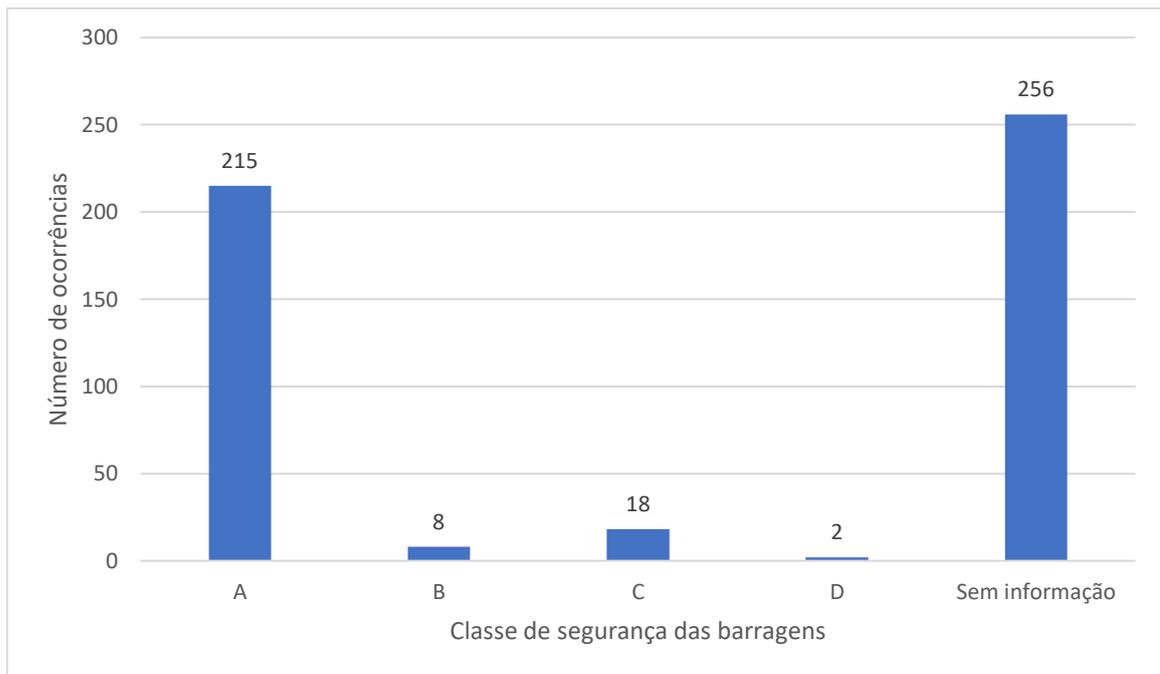
Figura 5 - Classificação das barragens em função do dano potencial



Temos que para o dano potencial associado a maior parte das barragens ainda não foi classificada correspondendo a 48,3%. Em seguida, temos que 44,3% possui um dano potencial alto. Em seguida, 4,20% das barragens tem um índice de dano potencial baixo. E por fim, 3,20% possuem um índice médio.

Temos o mapeamento em relação a classe das barragens, como descreve o item 2.4.3, como mostra a seguir na Figura 6.

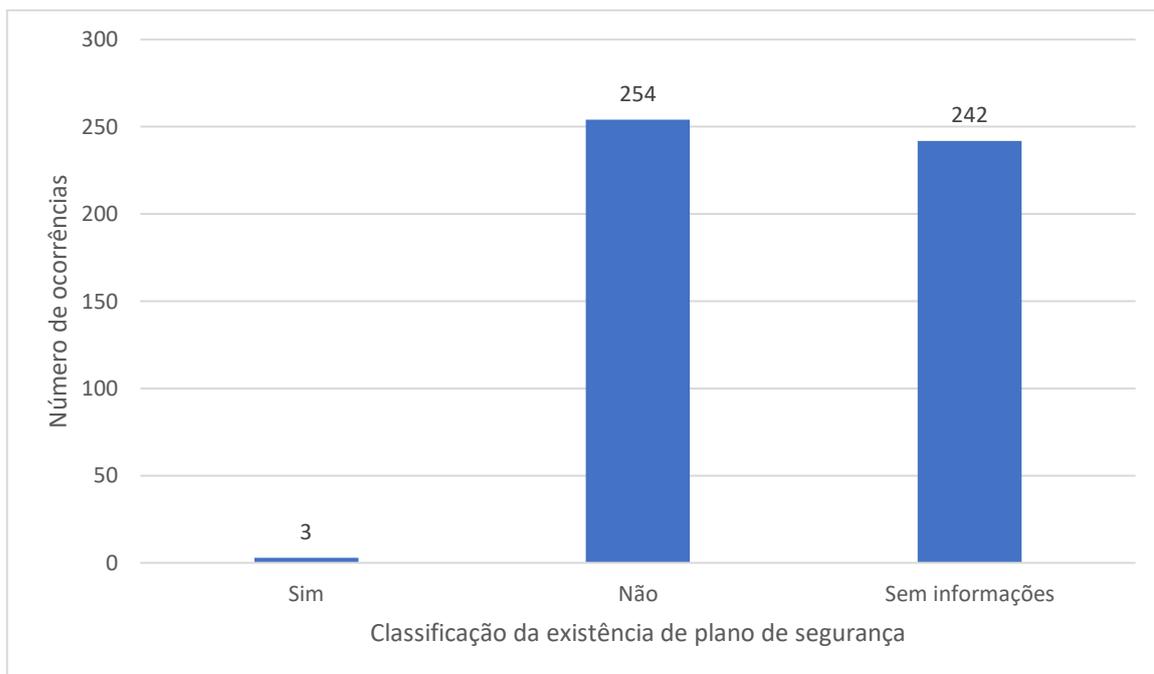
Figura 6 - Classificação das barragens em função classe de segurança



Assim, o diagnóstico das ações de segurança mostra que 51,30%, o que corresponde a grande maioria das barragens, não possuem informações sobre sua classe de risco o que é consequência sobre as barragens que não possuem classificação em relação ao dano e risco. Em seguida, temos que 43,1% são barragens que possuem uma categoria de risco de classe A. Para a classe B, temos um total de 1,60%. Para a classe C, temos 3,60%. E a minoria corresponde a classe D que possui, 0,40%.

Classificando em relação a existência de plano de segurança, como descreve o item 3, temos a seguir na Figura 7.

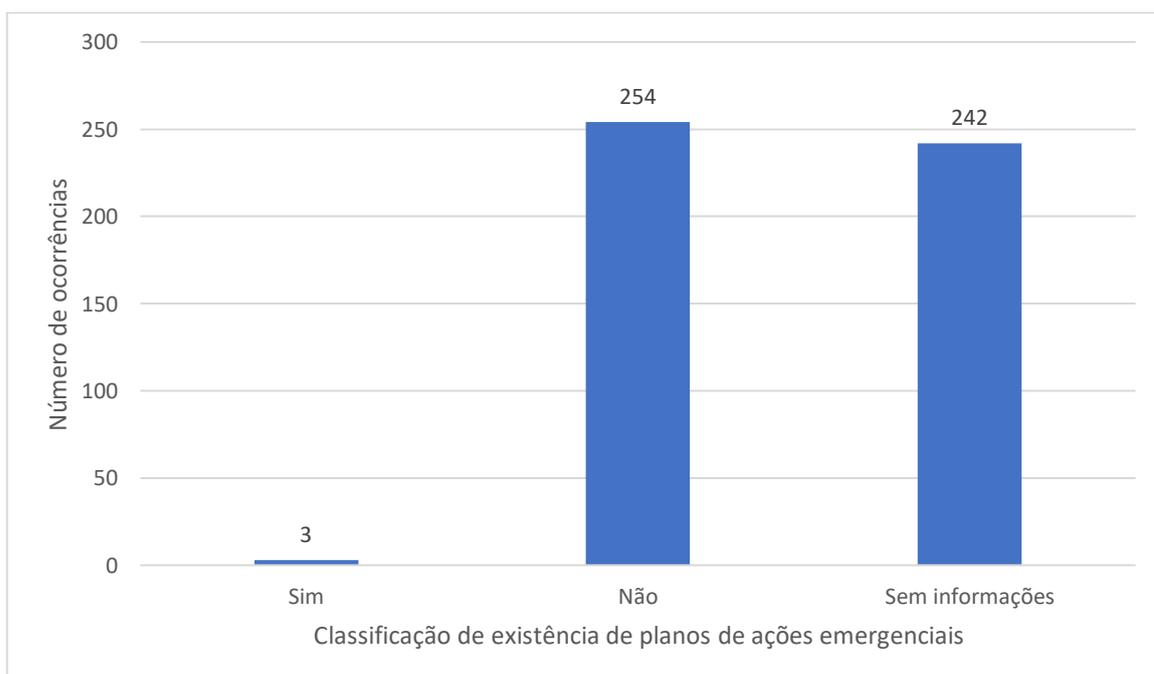
Figura 7 - Classificação das barragens em função da existência de plano de segurança



A Figura 7 nos apresenta que 50,90% das barragens não possui um plano de segurança. E que 48,5% das barragens não possui informações. E por fim, apenas, 0,6% apresentam um plano de segurança.

Em relação a existência de planos de ações emergenciais, como descreve o item 4, temos a seguir na Figura 8.

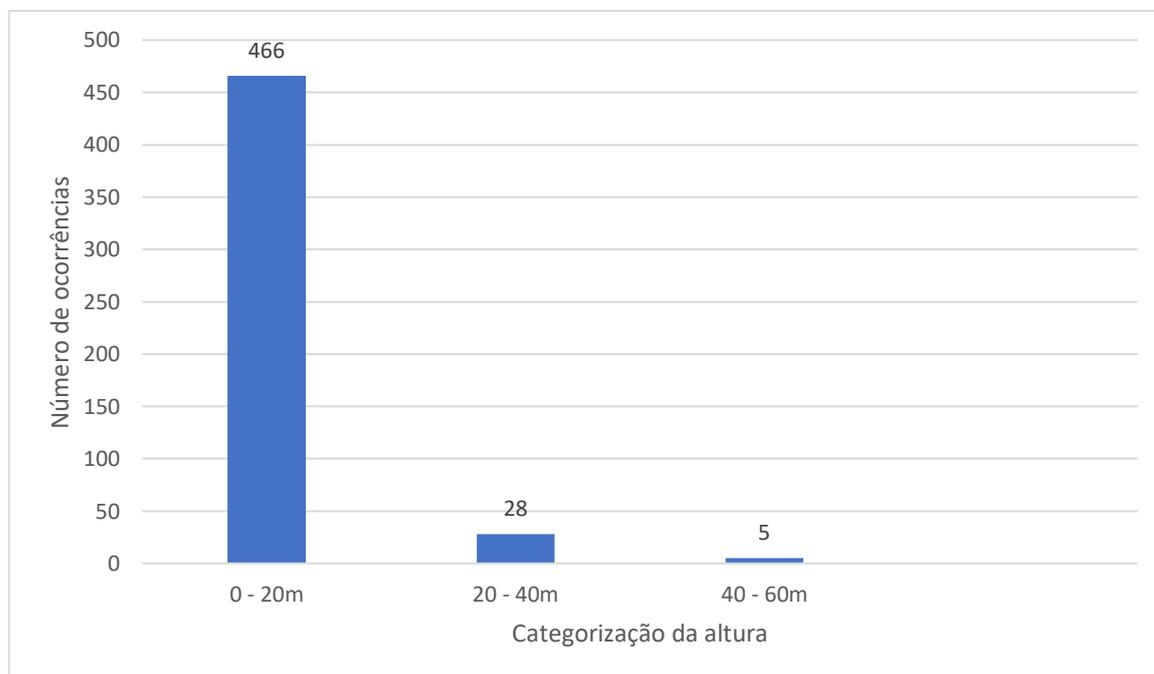
Figura 8 - Classificação das barragens em função da existência de planos de ações emergenciais



Da mesma forma, a Figura 8 nos apresenta que 50,90% das barragens não possui um plano de ações emergenciais. E que 48,5% das barragens não possui informações. E por fim, apenas, 0,6% apresentam um plano de ações emergenciais.

Para a categorização da altura das barragens, temos a seguir na Figura 9.

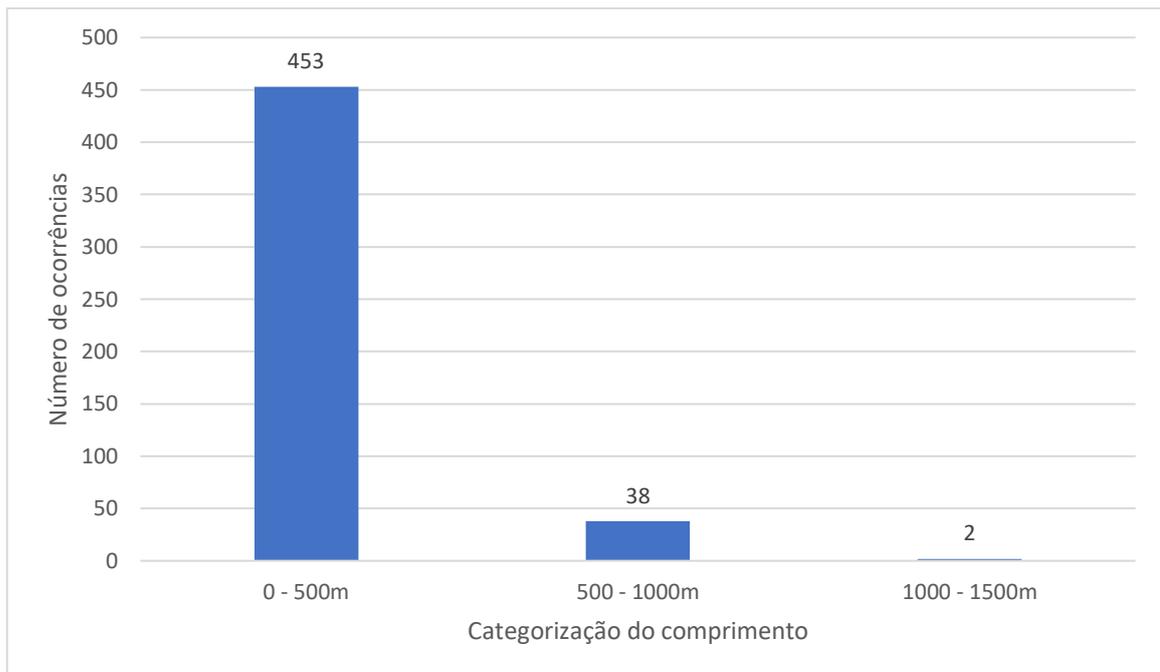
Figura 9 – Classificação das barragens em função da altura



A Figura 9 representa a categorização da altura das barragens onde a grande maioria com uma representação de 93,39% possui uma altura até 20 m. Em seguida, temos apenas 5,61% barragens do total que apresentam alturas entre 20 a 40m. E por fim, apenas 1% das barragens com alturas entre 40 a 60m.

Em relação ao comprimento das barragens, temos a seguir na Figura 10.

Figura 10 – Classificação das barragens em função do comprimento



Para o comprimento das barragens a Figura 10, fornece que 90,8% das barragens tem um comprimento entre 0 a 500m. Em seguida temos, que 7,6% das barragens possuem comprimentos entre 500 e 1000m. E por fim, apenas 0,4% possuem altura entre 1000 e 1500m.

4.1 Barragem representativa.

4.1.1 Definição de uma barragem típica da Paraíba

Com base nos resultados do item anterior foi definida uma barragem típica representativa da Paraíba, como aquela que possui as características mais comuns, nas categorias citadas acima, nas barragens catalogadas pela AESA, que são apresentadas no Quadro 9.

4.1.2 Características da barragem representativa

A partir dos dados do quadro 9, avaliou-se, as que entre as barragens paraibanas catalogadas pela AESA, a que melhor representa o comportamento médio é a barragem do Açude de Poções.

4.1.2.1 Barragem representativa

A barragem em estudo é a do Açude Poções que está situada no riacho Mulungu, no município de Monteiro, estado da Paraíba, aproximadamente 15 km a jusante da sede municipal. A cidade de Monteiro dista 164 km de Campina Grande e 292 km de João Pessoa.

A finalidade principal do açude é o aproveitamento do potencial hídrico para irrigação. A bacia hidrográfica do açude tem 656 km² e a região apresenta uma precipitação média de 588 mm. O barramento forma um lago que cobre uma área com 773,41 ha e acumula um volume de 29.861.562 m³.

4.1.3 Características do solo

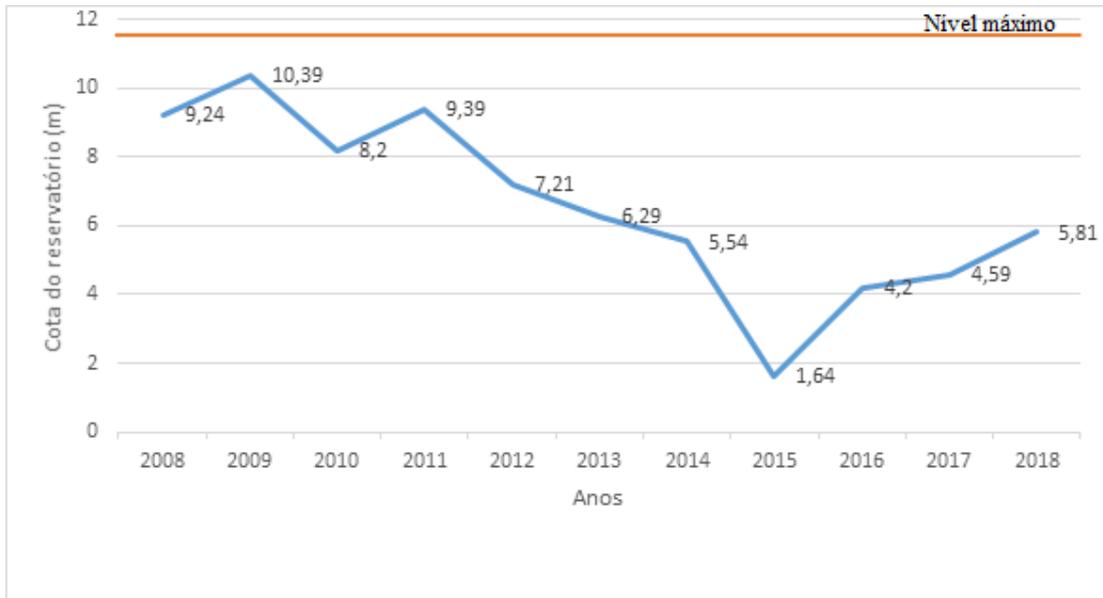
O presente trabalho foi desenvolvido utilizando-se dados, advindos das literaturas. Foram utilizados para os cálculos dos fatores de segurança, dados de coesão, ângulo de atrito, peso específico do solo e da fundação da barragem. Assumiu-se que para o corpo da barragem e fundação o tipo de solo é Silte, segundo informações encontradas na ficha técnica do Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS). Segundo (BARROS, 2015) estimou-se o valor do peso específico do solo igual a 17 KN/m³, visto que esse valor é o mais comum para a maior parte do solo, devido as características encontradas. Para a coesão segundo (CRUZ, 2004) determinamos coesão igual 20 Kpa e para o ângulo através de (BARROS, 2015) atrito igual a 26°. E para fundação o peso específico é de 18 KN/m³ (BARROS, 2015), devido a sua composição, com sua coesão estimada através de (PINTO 2006) e ângulo de atrito (BARROS, 2015) respectivamente iguais a, 0 e 22°. É importante ressaltar esse valor de coesão para a fundação por ser uma areia e ter um comportamento não drenado, o que resulta em uma coesão igual a zero.

Quadro 9 – Características da barragem representativa da PB

Finalidade	Abastecimento de água
Categoria de risco	Alto
Dano Potencial	Alto
Tipo construtivo	Terra
Altura	16,7 m
Comprimento	206 m
Classe	A
Tem PAE?	Não
Plano de Segurança?	Não

4.2 Variação do nível do reservatório do açude de Poções - PB ao longo dos últimos dez anos.

Figura 11 - Variação do nível do reservatório ao longo dos últimos dez anos

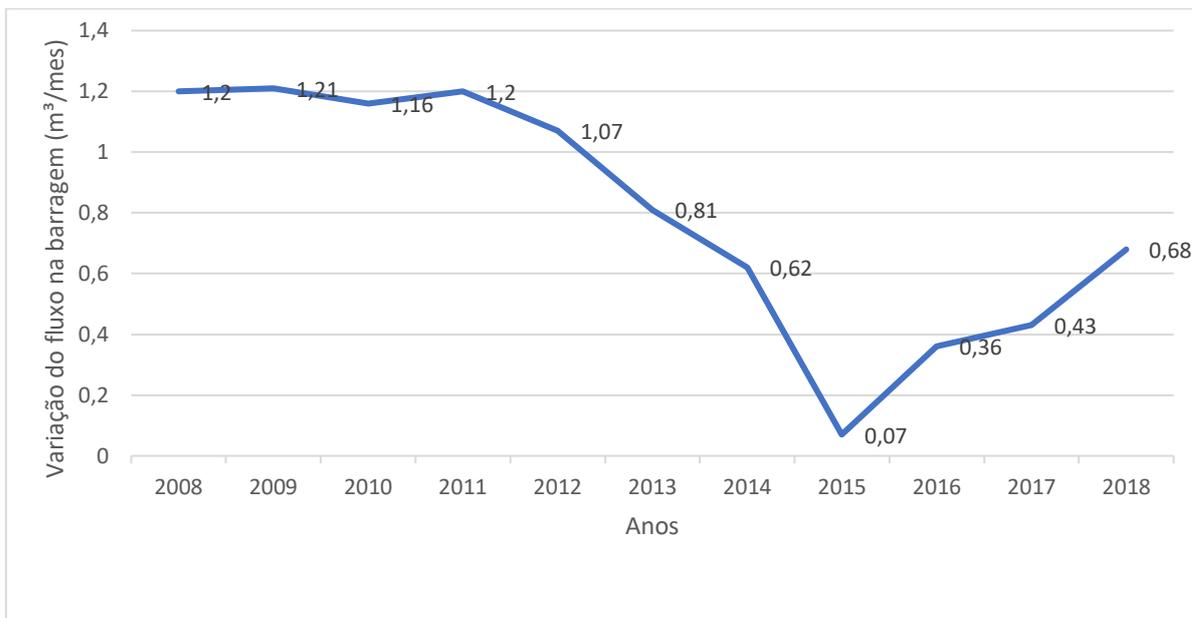


A barragem representativa tem uma cota máxima de 11,7 m. Para a variação ao longo do intervalo de dez anos tem uma variação de cota máxima de 10,39m em 2009 e 1,64m em 2015. Essa queda brusca da cota no ano de 2015 ocorreu devido à grande estiagem prolongada.

Em função das consequências da seca, o governo do Estado decretou em Situação de Emergência 197 municípios da Paraíba, sendo 170 pertencentes ao semiárido, inclusive o município de Monteiro onde localiza-se o açude de poções no Semiárido. A Situação de Emergência referente aos municípios do Semiárido - declarada pelo governo da Paraíba por meio do Decreto Estadual nº 35.817, de 17 de abril de 2015, publicado no Diário Oficial do Estado em 18 de abril de 2015 - foi oficialmente reconhecida pelo governo federal por meio da Portaria nº 071, de 22 de abril de 2015, publicada no Diário Oficial da União (DOU) em 23 de abril de 2015.

4.3 Análise do fluxo nos diferentes níveis do reservatório da barragem representativa.

Figura 12 - Variação do fluxo do reservatório ao longo dos últimos dez anos

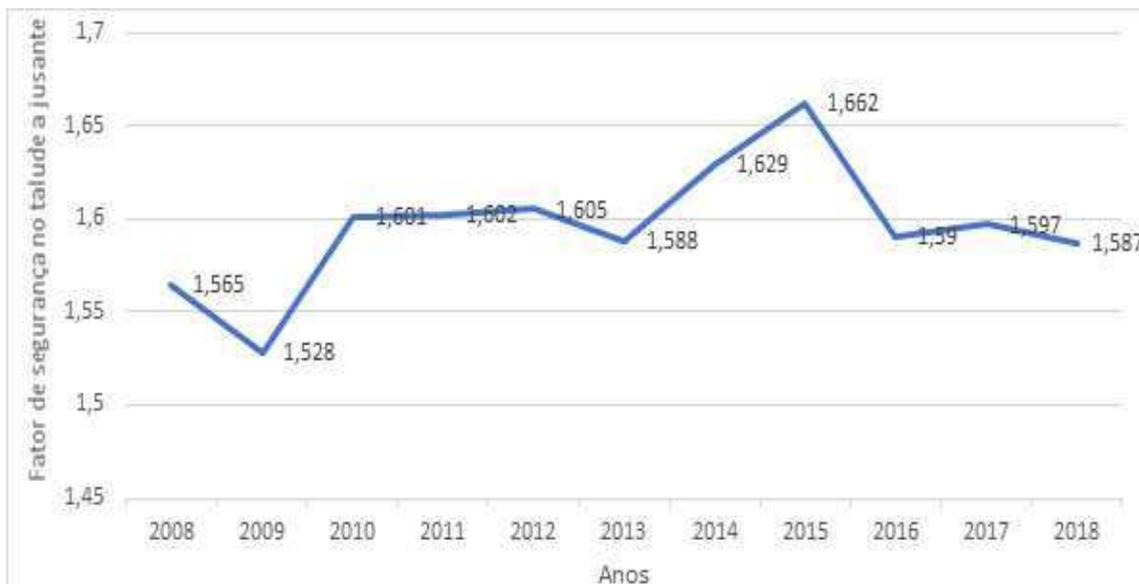


De acordo com Cruz (2004) a estabilidade global da barragem deve atender a três requisitos básicos de segurança: a verificação da estabilidade dos taludes; a análise das tensões e deformações do conjunto barragem e fundação; e o controle do fluxo d'água pelo maciço e suas fundações. Sendo o último, o fluxo que é um parâmetro que está relacionado diretamente com a cota do reservatório como podemos perceber na Figura 12, que representa a variação do fluxo ao longo dos últimos dez anos, onde verificamos o maior valor para cota consequentemente também se obteve um valor alto para o fluxo. De forma análoga, o ano que apresentou uma cota baixa devido à seca, consequentemente, apresentou um valor baixo de fluxo.

A segurança de barragens depende do eficiente controle de fluxo pelo maciço, fundação e ombreiras. Cruz (1996) *apud* Saré (2003) reconhece que após analisar qualquer estatística de acidentes e rupturas de barragens a causa majoritária está em geral atribuída à falta de um sistema eficiente de controle de fluxo.

4.4 Análise da estabilidade dos taludes nos diferentes níveis do reservatório.

Figura 13 - Variação do fluxo do reservatório ao longo dos últimos dez anos



Os fatores de segurança para a condição de operação normal através do método de Morgenstern Price escolhido para a análise estão demonstrados na Figura 13. O parâmetro em observação apresentou um intervalo de 1,528 a 1,662. Para as obras como barragens, uma análise de estabilidade do talude pelo método adotado para esse estudo recomenda-se que o valor do fator de segurança calculado pelo equilíbrio limite não seja inferior a 1,5.

Caso encontra-se inferior ao limite recomenda-se que os parâmetros de projeto e de métodos de cálculo devem ser revistos visando a segurança da obra. Para valores elevados, existe uma possibilidade de redimensionamento, que por vezes, associa-se a elevação de custos do empreendimento.

Para a barragem em operação, sob condição de fluxo permanente, considerou-se como situação de operação normal, àquela em que os níveis refletem uma condição de estabilidade associada a um $FS \geq 1,50$ como seguro. Este limite é recomendado pelo “Corps of Engineers” dos EUA, para estabilidade de barragens (Fell e outros,1992).

A análise acima sobre o fator de segurança para o ano de 2009 apresenta um menor FS, o que está diretamente relacionado ao maior nível do reservatório ao longo dos 10 anos analisados, conseqüentemente, corresponde ao maior fluxo encontrado no intervalo de tempo analisado. De forma oposta, temos que no ano de 2015 que apresenta um maior fator de segurança o que corresponde ao menor nível de cota do reservatório, conseqüentemente, um menor fluxo no reservatório o que corrobora para uma maior estabilidade na barragem.

4.5 Análise do risco e dano das barragens

Na Figura 5, onde podemos observar a classificação das barragens em função ao dano potencial verifica-se que mais da metade das barragens monitoradas não possuem classificação.

E que também, na Figura 6, 51,30% das barragens não possuem informações sobre a classe de segurança. Consequentemente, por falta de informações, 242 barragens não possuem informações sobre a existência ou não do plano de segurança e do plano de ações emergenciais. Pode-se verificar um efeito dominó, pois quando não há informações preliminares sobre os dados de segurança da barragem torna-se inviável a elaboração de plano de segurança e de ações emergenciais.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho buscou levantar dados para o levantamento, avaliação e diagnóstico das principais características e a segurança das barragens do estado da Paraíba. A ênfase foi direcionada ao estudo de uma barragem típica representativa do estado. Para análise completa, fez-se necessária uma avaliação inicial dos parâmetros em estudo como, finalidade, metodologia construtiva, risco, dano potencial, classe de segurança, plano de segurança, plano de ações emergenciais, altura e comprimento.

Outro aspecto importante observado foi a variação de nível de água, fluxo e fator de segurança da mesma para verificar se a barragem está dimensionada de forma coerente. O trabalho desenvolvido permitiu um melhor conhecimento e maior domínio do método de morgenstern para análise de estabilidade de taludes.

A técnica construtiva mais comum, que corresponde as barragens de terra é a alternativa mais barata em termos construtivos, pois, por vezes o material utilizado é encontrado em jazidas próximo a obra o que reduz custos.

Levando em consideração os aspectos referentes ao mapeamento das dimensões e características das barragens, percebe-se que a maioria das barragens possuem uma altura variando de 0 a 20m, apresentando barragens baixas. Por outro lado, temos uma variação no comprimento de 0 a 500m, caracterizando barragens que não são extensas. Tendo em vista os aspectos relacionados as características observou que a maioria das barragens tem como finalidade principal o abastecimento de água e o tipo construtivo sendo de terra.

Dado o exposto em termos da variação do nível de água na barragem representativa em um intervalo de 10 anos, pode-se observar que a maior cheia corresponde ao ano de 2009 com 88,80% de sua capacidade e maior seca em 2015 com apenas 14,01% de sua capacidade devido ao longo período de estiagem que se estendia pela região.

Em relação da maioria das barragens serem classificadas com alto risco, dano potencial associado e classe A, quase nenhuma barragem apresenta um plano emergencial. Essa classificação é feita de acordo com a lei 12.334/2010.

A análise realizada para verificar o fator de segurança, verificou que para o ano de 2009 apresenta um menor FS, o que está diretamente relacionado ao maior nível do reservatório ao longo dos 10 anos analisados, conseqüentemente, corresponde ao maior fluxo encontrado no intervalo de tempo analisado. Por outro lado, o ano de 2015 que apresenta um maior fator de segurança o que corresponde ao menor nível de cota do reservatório, conseqüentemente, um menor fluxo no reservatório o que corrobora para uma maior estabilidade na barragem.

REFERÊNCIAS

- AVILA, J. **Barragens de Rejeitos no Brasil**. Comitê Brasileiro de Barragens. Belo Horizonte, 2012.
- BRAJA M. Das. Khaled Sobhan. **Fundamentos de Engenharia Geotécnica**. São Paulo – 2015. 8º ed.
- BRASIL. Secretaria de Infraestrutura Hídrica. Ministério da Integração Nacional. **Manual de Segurança e Inspeção de Barragens**. Brasília: Cartaz, 2002.
- BRASIL. Agência Nacional de Água - ANA. Resolução nº 236/2017. Disponível em:<<http://arquivos.ana.gov.br/resolucoes/2017/236-2017.pdf>>. Acesso em: 10 de Nov de 2019.
- BRASIL. **Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010**. Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens e cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF. 2010.
- BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. CONSELHO NACIONAL DOS RECURSOS HÍDRICOS - CNRH. **Resolução nº 143, de 10 de julho de 2012**. Estabelece os critérios gerais para classificação de barragens por categoria de risco, dano potencial associado e volume do reservatório. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 04 de set. 2012b.
- BOYER, D. D. **Dam Safety Regulations**. National Dam Safety Program – Regional Technical Seminar on Safety Evaluation of Existing Dams. US BuRec. ASDSO, Baltimore, Maryland, EUA. 2004.
- CBDB. **Guia Básico de Segurança de Barragens**. São Paulo: [s.n], 2001. 78 p.
- CARNEIRO, R. **Direito ambiental: uma abordagem econômica**. Rio de Janeiro, 2003.
- CASAGRANDE, A. **Seepage through dams**. Journal of the new England water works association. Vol. LI, no. 2, 1937
- CEDERGREN, H. R. **Seepage, Drainage and Flow nets**. 2.ed. New York – Estados Unidos: John Wiley and Sons, 1977. pp. 86-280
- CHIOSSI, N. J. **Geologia de engenharia**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013
- COSTA, W. D. **Geologia de barragens**. São Paulo: Oficina de textos, 2012.
- CRUZ, P. T. **100 Grandes Barragens Brasileiras: Casos Históricos, Materiais de Construção e Projeto**. São Paulo: Oficina de Textos, 1996.

DINÇERGÖK, T. The Role Of Dam Safety In Dam-Break Induced Flood Management. In: **International Conference On River Basin Management**, 1. Kos. Anais. Ankara: General Directorate Of State Hydraulic Works, 2007.

FARIAS, R. S. **Avaliação do potencial de dano ambiental das barragens de contenção de rejeitos, de resíduos e de reservatório de água em empreendimentos industriais e de mineração no estado de Minas Gerais**. Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM),

FREITAS, M. A. C. **Análise de estabilidade de taludes pelos métodos de Morgnestern-Price e Correia**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Engenharia Civil, Universidade do Porto. Portugal. Porto. 2011.

FELL, R.; MAC GREGOR, P.; STAPLEDON, D. **Geotechnical engineering of embankment dams**. Rotterdam: A. A. Balkema, 1992.

GOUVEIA F. **Tipos de barragens**. 2009

JANSEN, R. B. **Dams and public safety**. Denver, Colo.: U.S. Dept. of the Interior, Bureau of Reclamation; For sale by the Supt. of Docs., U.S. G.P.O., 1983.

MACCAFERRI DO BRASIL LTDA. **Obras de contenção: manual técnico**. Publicação Técnica.

MACHADO, W. G. F. **Monitoramento de barragens de contenção da mineração**. 2007.

MASSAD, F. **Obras de Terra: Curso Básico de Geotecnia**. São Paulo: Oficina de textos, 2003.

SARÉ, A. R. **Análise das condições de fluxo na barragem de Curuá-Uma, Pará**. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2003.

SIRVINKAS, L.P. **Manual de Direito Ambiental**. Saraiva. São Paulo, 2005.

WISEU, T.; FRANCO, A. B.; ALMEIDA, A. B.; SANTOS, A. **Modelos uni e bidimensionais na simulação de cheias induzidas por rotura de barragens – a experiência do vale do Arade**. IV SIMPÓSIO DE HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS DOS PAÍSES DE LÍNGUA OFICIAL PORTUGUESA, 1999, Coimbra. WISEU, T.; ALMEIDA, A.B. Plano de Emergência Interno de barragens. In: CONGRESSO DA ÁGUA, 5, 2000, Lisboa.